

УДК 534.11

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПОГРУЖЕННОГО В ЖИДКОСТЬ ШАРА, ПОДВЕШЕННОГО НА СТРУНЕ С ПЕРЕМЕННЫМ НАТЯЖЕНИЕМ

В. А. Семенов

Пермский государственный университет, 614600 Пермь

Определены области параметрического резонанса погруженного в воду шара, подвешенного на струне с переменным натяжением.

Как известно [1], на тело, колеблющееся в вязкой жидкости, действует сила сопротивления, содержащая две составляющие, одна из которых пропорциональна скорости, другая — ускорению тела. Вклад этих составляющих зависит от частоты колебаний, что обуславливает сложность аналитического исследования параметрических колебаний тела в жидкости, в частности из-за возникающей неопределенности частоты колебаний тела на границе устойчивости. В связи с этим для построения адекватной теоретической модели параметрических колебаний тела в жидкости необходимы дополнительные экспериментальные данные.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования параметрической неустойчивости погруженного в воду шара, подвешенного на струне, натяжение которой периодически меняется во времени. На рис. 1 показана схема экспериментальной установки. Шар из оргстекла диаметром 8,5 мм и массой 0,29 г подвешивался на бронзовой струне диаметром 0,2 мм, протянутой через его центр. Один конец струны крепился к держателю из текстолита, а другой через отверстие в держателе — к сердечнику катушки возбуждения. Длина струны между ее закрепленным концом и отверстием в держателе 140 мм. Шар крепился посередине струны. Контролируемое постоянное натяжение струны задавалось с помощью пружинного динамометра, который стальным проводом соединялся с сердечником. Все детали установки крепились к основанию, состоящему из стойки и направляющей, вдоль которой возможно перемещение держателя, катушки возбуждения и динамометра. В ходе эксперимента шар с держателем погружался в прозрачный сосуд с водой. На катушку возбуждения с генератора ГЗ-33 подавалось напряжение, частота которого контролировалась частотомером Ф-5080. Значение перемен-

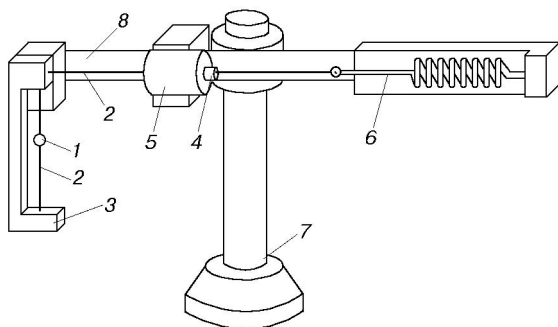


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — шар; 2 — струна; 3 — держатель; 4 — сердечник; 5 — катушка возбуждения; 6 — пружинный динамометр; 7 — стойка; 8 — направляющая

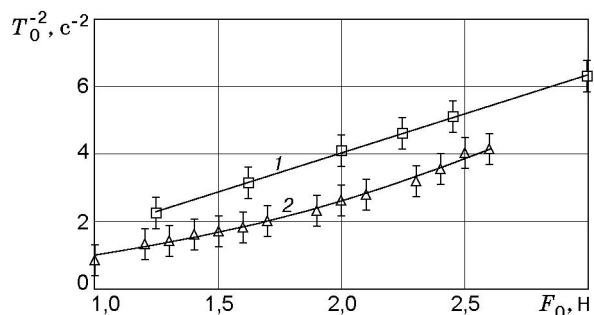


Рис. 2. Зависимость условного периода T_0 затухающих колебаний шара от натяжения струны F_0 в воздухе (1) и воде (2)

ного тока через катушку определялось по напряжению вольтметром В7-22 на включенном последовательно эталонном сопротивлении R33.

В начале экспериментов исследовалась зависимость магнитной силы F , действующей на сердечник катушки возбуждения, от тока I . Для этого через катушку пропусклся контролируемый постоянный ток и с помощью динамометра определялась сила, уравновешивающая сердечник. Измерения показали, что при $I = -25 \div 25$ мА сила линейно зависит от тока и может быть аппроксимирована формулой

$$F = A + BI,$$

где $A = 0,33$ Н; $B = 0,012$ Н/мА.

При исследовании параметрических колебаний важен предварительный анализ собственных частот системы. В связи с этим проведено изучение зависимости условного периода [2] затухающих поперечных колебаний шара от натяжения струны в воздухе и воде. Для этого при некотором фиксированном натяжении струны возбуждались колебания шара, который освещался лучом лазера. Тень от шара проецировалась на фотоумножитель, и с помощью частотомера Ф-5080 измерялся период изменения тока. На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость условного периода затухающих колебаний шара от натяжения струны.

Области параметрического резонанса определялись следующим образом. При некотором фиксированном натяжении струны F_0 через катушку возбуждения пропусклся пере-

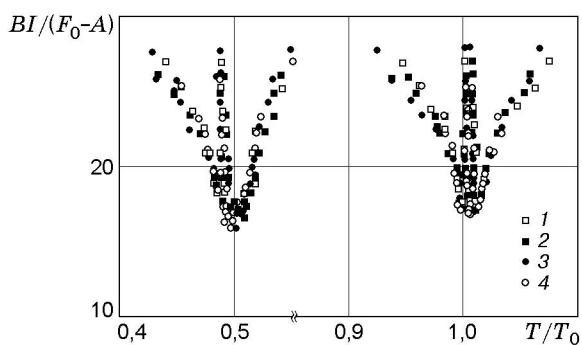


Рис. 3

Рис. 3. Области параметрической неустойчивости в воздухе при различном натяжении струны F_0 :

1 — $F_0 = 1,5$ Н; 2 — $F_0 = 1,7$ Н; 3 — $F_0 = 2$ Н; 4 — $F_0 = 2,3$ Н

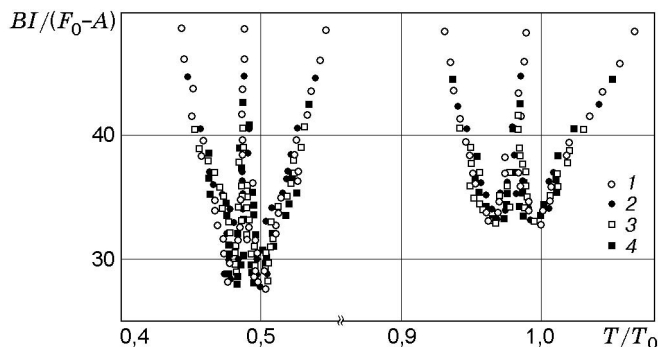


Рис. 4

Рис. 4. Области параметрической неустойчивости в воде при различном натяжении струны F_0 :

1 — $F_0 = 1,24$ Н; 2 — $F_0 = 1,5$ Н; 3 — $F_0 = 1,7$ Н; 4 — $F_0 = 2,1$ Н

менный ток, значение I которого поддерживалось постоянным. Затем изменением частоты генератора определялась частота $1/T$, при которой возникает параметрический резонанс шара. Результаты измерений, проведенных при различном натяжении струны, представлены на рис. 3, 4. Из рис. 3, 4 следует, что в случае колебаний в воздухе ширина резонансной области уменьшается с ростом зоны параметрической неустойчивости. Этот результат согласуется с известными расчетными данными [3, 4]. Однако в случае колебаний в воде наблюдается обратная зависимость. Внутри каждой области резонанса имеется узкая область устойчивости. Вероятно, это вызвано наличием двух близких собственных частот поперечных колебаний шара, что обусловлено отклонением от его исходной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.
2. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. М.: Наука, 1964.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. М.: Наука, 1965.
4. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984.

Поступила в редакцию 1/XI 2001 г.
